

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 715 890 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
12.06.1996 Bulletin 1996/24

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **B01J 37/34, B01J 31/24**

(21) Numéro de dépôt: **95420339.4**

(22) Date de dépôt: **01.12.1995**

(84) Etats contractants désignés:  
**BE DE ES FR GB IE IT NL PT**

(30) Priorité: **06.12.1994 FR 9414884**

(71) Demandeur: **RHONE-POULENC FIBER & RESIN  
INTERMEDIATES  
92408 Courbevoie Cedex (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Chamard, Alex  
F-69960 Corbas (FR)**

• **Horbez, Dominique  
F-95130 Franconville (FR)**  
• **Huser, Marc  
F-69100 Villeurbanne (FR)**  
• **Perron, Robert  
F-69390 Charly (FR)**

(74) Mandataire: **Vignally, Noel  
Rhône-Poulenc Chimie  
Direction Propriété Industrielle  
CRIT-Carrières  
B.P. 62  
69192 Saint-Fons Cédex (FR)**

(54) **Procédé de préparation électrochimique de Catalyseurs à base de métal de transition et de phosphine**

(57) La présente invention concerne un procédé électrochimique de préparation de composés pouvant être utilisés comme catalyseurs.

Les composés visés comportent plus spécifiquement au moins un métal de transition au degré d'oxydation 0 ou 1 associé à au moins une phosphine sulfonée.

Le procédé de synthèse électrochimique des catalyseurs consiste à traiter par électrolyse une solution aqueuse contenant au moins un composé d'un métal de transition et une phosphine sulfonée, placée dans le compartiment cathodique d'une cellule d'électrolyse d'un électrolyseur.

**EP 0 715 890 A1**

## Description

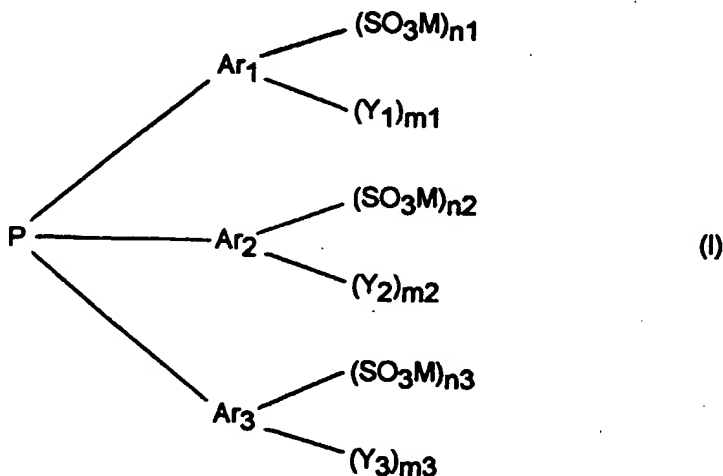
La présente invention concerne un procédé électrochimique de préparation de composés pouvant être utilisés comme catalyseurs.

Les composés visés par le procédé de l'invention comportent au moins un métal de transition au degré d'oxydation 0 ou 1 associé à au moins une phosphine sulfonée soluble dans l'eau.

De tels composés peuvent être utilisés par exemple comme catalyseurs dans la réaction d'hydrocyanation de composés éthyléniques, telle que décrite dans le brevet FR-A-2338253. Dans le présent texte, ils seront nommés catalyseurs sans que cela limite leur domaine d'utilisation.

Le procédé de préparation électrochimique des catalyseurs comportant au moins un métal de transition au degré d'oxydation 0 ou 1, associé à au moins une phosphine sulfonée, consiste à traiter par électrolyse une solution aqueuse contenant au moins un composé d'un métal de transition et une phosphine sulfonée, placée dans le compartiment cathodique d'une cellule d'électrolyse d'un électrolyseur.

La phosphine sulfonée mise en oeuvre dans le procédé de l'invention répond à la formule générale (I)



dans laquelle :

- \*  $\text{Ar}_1$ ,  $\text{Ar}_2$  et  $\text{Ar}_3$ , identiques ou différents, représentent des groupements aryles
- \*  $\text{Y}_1$ ,  $\text{Y}_2$  et  $\text{Y}_3$ , identiques ou différents, représentent
  - un radical alkyle ayant 1 à 4 atomes de carbone,
  - un radical alcoxy ayant 1 à 4 atomes de carbone,
  - un atome d'halogène,
  - un radical  $\text{CN}$ ,
  - un radical  $\text{NO}_2$ ,
  - un radical  $\text{OH}$ ,
  - un radical  $\text{NR}_1\text{R}_2$ , dans la formule duquel  $\text{R}_1$  et  $\text{R}_2$ , identiques ou différents, représentent un radical alkyle ayant 1 à 4 atomes de carbone,
- \* M est un reste cationique minéral ou organique choisi, de manière à ce que le composé de formule (I) soit soluble dans l'eau, dans le groupe comprenant :
  - $\text{H}^+$ ,
  - les cations dérivés des métaux alcalins ou alcalino-terreux,
  - $\text{N}(\text{R}_3\text{R}_4\text{R}_5\text{R}_6)^+$  avec  $\text{R}_3$ ,  $\text{R}_4$ ,  $\text{R}_5$  et  $\text{R}_6$ , identiques ou différents, représentant un radical alkyle ayant 1 à 4 atomes de carbone ou un atome d'hydrogène,
  - les autres cations dérivés des métaux dont les sels de l'acide benzènesulfonique sont solubles dans l'eau,
- \*  $m_1$ ,  $m_2$  et  $m_3$  sont des nombres entiers, identiques ou différents, de 0 à 5,
- \*  $n_1$ ,  $n_2$  et  $n_3$  sont des nombres entiers, identiques ou différents, de 0 à 3, l'un d'entre eux au moins étant égal ou

supérieur à 1.

Comme exemples de métaux dont les sels de l'acide benzènesulfonique sont solubles dans l'eau, on peut citer le plomb, le zinc et l'étain.

5 Par l'expression soluble dans l'eau, on entend de manière générale dans le présent texte un composé soluble à au moins 0,01 g par litre d'eau.

Parmi les phosphines de formule (I), on préfère celles pour lesquelles :

- $Ar_1$ ,  $Ar_2$  et  $Ar_3$  sont des groupements phényle,
- 10 -  $Y_1$ ,  $Y_2$  et  $Y_3$  représentent des groupements choisis parmi
  - les radicaux alkyle ayant de 1 à 2 atomes de carbone,
  - les radicaux alkoxy ayant de 1 à 2 atomes de carbone,
- 15 - M représente un cation choisi parmi le groupe comprenant
  - $H^+$
  - les cations dérivés de Na, K, Ca, Ba
  - $NH_4^+$
  - 20 les cations tétraméthylammonium, tétraéthylammonium, tétrapropylammonium, tétrabutylammonium
- $m_1$ ,  $m_2$  et  $m_3$  sont des nombres entiers de 0 à 3
- $n_1$ ,  $n_2$  et  $n_3$  sont des nombres entiers de 0 à 3, l'un au moins étant également supérieur à 1.

25 Parmi ces phosphines, les plus particulièrement préférées sont les sels de sodium, de potassium, de calcium, de baryum, d'ammonium, de tétraméthylammonium et de tétraéthylammonium, des mono(sulfophényl) diphényl-phosphine, di(sulfophényl) phényl-phosphine et tri(sulfophényl)-phosphine dans les formules desquelles les groupements  $SO_3$  sont de préférence en position méta.

On peut citer comme autres exemples de phosphines de formule (I) pouvant être mises en oeuvre dans le procédé de l'invention, les sels alcalins ou alcalino-terreux, les sels d'ammonium, les sels d'ammonium quaternaire des (sulfo-3 méthyl-4 phényl) di (méthyl-4 phényl)-phosphine ; (sulfo-3 méthoxy-4 phényl) di(méthoxy-4 phényl)-phosphine ; (sulfo-3 chloro-4 phényl) di(chloro-4 phényl)-phosphine ; di(sulfo-3 phényl) phényl-phosphine ; di(sulfo-4 phényl) phényl-phosphine ; di(sulfo-3 méthyl-4 phényl) (méthyl-4 phényl)-phosphine ; di(sulfo-3 méthoxy-4 phényl) (méthoxy-4 phényl) phosphine ; di(sulfo-3 chloro-4 phényl) (chloro-4 phényl) phosphine ; tri(sulfo-3 phényl)-phosphine ; tri(sulfo-4 phényl)-phosphine ; (tri(sulfo-3 méthyl-4 phényl)-phosphine ; tri(sulfo-3, méthoxy-4 phényl)-phosphine ; tri(sulfo-3 chloro-4 phényl)-phosphine ; (sulfo-2 méthyl-4 phényl) (sulfo-3, méthyl-4 phényl) (disulfo-3,5 méthyl-4 phényl)-phosphine ; (sulfo-3 phényl) (sulfo-3 chloro-4 phényl) (disulfo-3,5 chloro-4 phényl)-phosphine.

On peut bien évidemment utiliser un mélange de ces phosphines. En particulier, on peut utiliser un mélange de phosphines mono-, di- et tri-métasulfonées.

40 On utilise de préférence comme composés des métaux de transition des composés du nickel, du cobalt, du fer, du palladium, du platine, du rhodium et de l'iridium. On utilise des composés solubles dans l'eau ou capables de passer en solution dans les conditions de la réaction. Le reste lié au métal n'est pas critique, dès l'instant qu'il satisfait à ces conditions.

Parmi les composés précités, les composés les plus préférés sont ceux du nickel. On peut citer à titre d'exemples non limitatifs des composés tels que carboxylates (notamment acétate, formiate, citrate) de nickel, carbonate de nickel, bicarbonate de nickel, borate de nickel, bromure de nickel, chlorure de nickel, iodure de nickel, thiocyanate de nickel, cyanure de nickel, hydroxyde de nickel, hydrophosphite de nickel, phosphite de nickel, phosphate de nickel et dérivés, nitrate de nickel, sulfate de nickel, sulfite de nickel, aryl- et alkyl-sulfonates de nickel.

Il n'est pas nécessaire que le composé du nickel soit lui même soluble dans l'eau. Par exemple, le cyanure de nickel peu soluble dans l'eau se dissout très bien dans une solution aqueuse de phosphine sulfonée.

50 La cellule d'électrolyse de l'électrolyseur utilisée dans le présent procédé, comporte un compartiment cathodique et un compartiment anodique séparés par un élément séparateur.

La cathode de la cellule d'électrolyse peut être réalisée en un matériau tel que le platine, l'or, l'iridium, le ruthénium, le palladium, le nickel, le graphite, le carbone vitreux, le fer, un acier inoxydable, un acier spécial, le plomb, le mercure, un amalgame. Elle peut être constituée également par du titane, du tantale, du nickel ou d'un acier inoxydable, revêtu d'une couche de platine, d'or, d'iridium, de ruthénium, d'un mélange de plusieurs de ces métaux, d'oxydes de platine, de palladium, d'iridium, de rhodium, de ruthénium, d'osmium, de tantale ou d'un mélange de plusieurs de ces oxydes.

La cathode peut avoir une structure plane telle que plaque, grille ou une structure volumique ; elle peut notamment

être trouée ou déployée. Comme types de structures volumiques, on peut utiliser des empilements granulaires de matériaux cités précédemment, des feutres ou des mousses de ces matériaux.

L'anode peut être réalisée en un matériau tel que le platine, l'or, l'iridium, le ruthénium, le palladium, le nickel, le graphite, le carbone vitreux, un acier inoxydable, un acier spécial, le plomb. Elle peut être constituée également par du titane ou du tantalum revêtu d'un couche de platine, d'or, d'iridium, de ruthénium, d'un mélange de plusieurs de ces métaux, d'oxydes de platine, de palladium, d'iridium, de rhodium, de ruthénium, d'osmium, de tantale ou d'un mélange de plusieurs de ces oxydes.

La structure de l'anode peut être de différents types comme cela a été défini pour la cathode.

L'élément séparateur de la cellule d'électrolyse est constitué par une membrane échangeuse d'ions ou un diaphragme poreux.

Les membranes peuvent être du type cationique, notamment préparées à partir de résines échangeuses de cation possédant des groupes acides comme les groupes sulfoniques ou des groupes carboxyliques. De préférence, on utilisera les membranes préparées avec des résines sulfoniques. Comme membranes de cette sorte, on peut citer par exemple celles qui sont vendues sous les marques commerciales Nafion® (membranes sulfoniques perfluorées) ou Selemion®.

Les membranes peuvent aussi être de type anionique, mais les membranes cationiques sont généralement préférées, car elles présentent un certain nombre d'avantages. Elles sont notamment plus solides que les membranes anioniques et elles permettent également d'opérer avec des intensités de courant plus élevées.

Les diaphragmes poreux peuvent être notamment des diaphragmes en céramique poreuse, des diaphragmes en fibres synthétiques tissées ou non-tissées, des diaphragmes déposés à base de fibres d'amiante ou de fibres synthétiques.

L'élément séparateur peut être disposé en appui sur l'anode ou sur la cathode.

Comme indiqué précédemment, dans le compartiment cathodique se trouve la solution aqueuse comprenant la phosphine sulfonée et le composé du métal de transition. La concentration initiale en phosphine sulfonée se situe généralement entre  $10^{-3}$  mole/litre et 1 mole/litre. La concentration initiale en composé du métal de transition, notamment en composé du nickel, se situe généralement entre  $10^{-5}$  mole/litre et 1 mole/litre.

On peut rajouter dans le compartiment cathodique d'autres composés permettant d'augmenter la conductivité de l'électrolyte, tels que par exemple des sels solubles.

On peut également rajouter des agents complexants susceptibles de modifier le potentiel auquel est effectuée la réduction du métal de transition. Comme exemples de tels agents complexants, on peut citer les cyanures.

La solution du compartiment cathodique peut en outre comprendre des composés dont le rôle est de compléter le catalyseur préparé par le procédé de l'invention. Ces composés sont notamment des acides de Lewis.

Par acide de Lewis, on entend dans le présent texte, selon la définition usuelle, des composés accepteurs de doublets électroniques.

On peut mettre en oeuvre notamment les acides de Lewis cités dans l'ouvrage édité par G.A. OLAH "Friedel-Crafts and related Reactions", tome I, pages 191 à 197 (1963).

Les acides de Lewis qui peuvent être mis en oeuvre dans le compartiment cathodique sont choisis parmi les composés des éléments des groupes Ib, IIb, IIIa, IIIb, IVa, IVb, Va, Vb, VIb, VIIb et VIII de la Classification périodique des éléments, dans la mesure où lesdits composés sont au moins partiellement solubles et stables dans l'eau ou plus généralement dans la solution aqueuse à traiter par électrolyse. Ces composés sont le plus souvent, mais de manière non limitative, des sels, notamment des halogénures, de préférence chlorures et bromures, des sulfates, des nitrates, des sulfonates, notamment des trifluorométhanesulfonates, des carboxylates, des acétylacétonates, des tétrafluoroborates et des phosphates.

A titre d'exemples non limitatifs de tels acides de Lewis, on peut citer le chlorure de zinc, le bromure de zinc, l'iodure de zinc, le trifluorométhanesulfonate de zinc, l'acétate de zinc, le nitrate de zinc, le tétrafluoroborate de zinc, le chlorure de manganèse, le bromure de manganèse, le chlorure de nickel, le bromure de nickel, le cyanure de nickel, l'acétylacétonate de nickel, le chlorure de cadmium, le bromure de cadmium, le chlorure stanneux, le bromure stanneux, le sulfate stanneux, le tartrate stanneux, les chlorures, bromures, sulfates, nitrates, carboxylates ou trifluorométhanesulfonates des éléments des terres rares comme le lanthane, le cérium, le praséodyme, le néodyme, le samarium, l'euporium, le gadolinium, le terbium, le dysprosium, l'holmium, l'erbium, le thulium, l'ytterbium et le lutétium, le chlorure de cobalt, le chlorure ferreux, le chlorure d'yttrium.

On peut bien entendu mettre en oeuvre des mélanges de plusieurs acides de Lewis.

Parmi les acides de Lewis qui peuvent être utilisés, on peut citer tout particulièrement le chlorure de zinc, le bromure de zinc, le sulfate de zinc, le tétrafluoroborate de zinc, le chlorure stanneux, le bromure stanneux, les mélanges chlorure de zinc/chlorure stanneux, le chlorure de nickel, le bromure de nickel, l'acétylacétonate de nickel.

L'acide de Lewis mis en oeuvre représente généralement de 0 à 50 moles par mole de composé de métal de transition, plus particulièrement de composé du nickel, et de préférence de 0 à 10 moles par mole.

Le compartiment anodique contient une solution aqueuse d'un anolyte qui peut être constitué par un acide tel que

notamment l'acide sulfurique, l'acide nitrique, les acides carboxyliques solubles dans l'eau comme l'acide acétique, par leurs sels notamment de sodium, de potassium, d'ammonium ou d'ammonium quaternaire ou par un bas tel que notamment la soude ou la potasse. De préférence, l'anolyte sera choisi parmi l'acide sulfurique et ses sels, notamment le sulfate dipotassique, l'hydrogénosulfate de potassium, le sulfate disodique, l'hydrogénosulfate de sodium.

L'anolyte peut aussi être constitué par un ou plusieurs phosphines sulfonées définies précédemment.

La concentration initiale de l'anolyte dans la solution du compartiment anodique est généralement de  $10^{-2}$  mole/litre à 3 moles/litre.

Le courant électrique mis en œuvre dans le procédé de l'invention est défini par son intensité et le potentiel à la cathode. Le potentiel peut être maintenu constant pendant la durée de l'électrolyse (potentiostatique). Une autre possibilité est de maintenir constante l'intensité (intensitostatique). En fonctionnement continu du procédé de l'invention, ces deux variantes sont équivalentes.

Lorsque l'on opère à potentiel constant, la valeur de celui-ci peut être facilement déterminée par l'homme du métier par le tracé de courbes intensité/potentiel.

La densité de courant peut atteindre  $30 \text{ A/dm}^2$ . Elle est ajustée en fonction de la quantité de métal de transition à réduire.

La température à laquelle on opère se situe généralement de  $0^\circ\text{C}$  à  $95^\circ\text{C}$ .

Une variante intéressante du procédé de l'invention consiste à régénérer un catalyseur usé, c'est-à-dire un catalyseur ayant servi et étant devenu au moins partiellement inactif. Ainsi, un catalyseur à base de phosphine sulfonée et d'un métal de transition au degré d'oxydation 0 ou 1, contenant aussi éventuellement un ou plusieurs acides de Lewis, utilisé dans la réaction d'hydrocyanation du butadiène et/ou de pentène-nitriles se désactive progressivement, en particulier par oxydation du métal de transition. Celui-ci, et plus particulièrement le nickel, est transformé au moins en partie en cyanure. En fin de réaction d'hydrocyanation, la phase aqueuse contenant notamment la phosphine sulfonée et le composé du métal de transition peut être aisément séparée de la phase organique. Cette phase aqueuse peut contenir des quantités relativement faibles de composés initialement introduits comme le butadiène et/ou les pentène-nitriles ou formés en cours de réaction comme l'adiponitrile, le méthyl-glutaronitrile, l'éthyl-succinonitrile, les pentène-nitriles, les méthylbutène-nitriles. La phase aqueuse est traitée électrochimiquement comme décrit précédemment afin de régénérer le catalyseur.

Les exemples qui suivent illustrent l'invention.

## EXEMPLES

### Appareillage utilisé.

La cellule d'électrolyse est composée d'un récipient cylindrique en verre ayant un volume utile d'environ 100 ml, dans lequel se trouve une cathode sous forme d'une grille en platine, un puits anodique cylindrique, placé à l'intérieur de la grille cathodique et comportant à base une membrane en résine de type Nafion 417® et dans lequel plonge l'anode sous forme de plaque de platine.

L'électrolyseur est relié à un potentiostat qui permet de maintenir le potentiel de la cathode à une valeur de -1,2 Volt par rapport à une électrode de référence Ag/AgCl.

### Abréviations utilisées :

TPPTS = sel de sodium de la triphénylphosphine trisulfonée

3PN = pentène-3 nitrile

ADN = adiponitrile

2M3 = méthyl-2 butène-3 nitrile

BD = butadiène

TT = taux de transformation

RT = sélectivité en un composé obtenu par rapport au composé de départ transformé

t.o. = turn-over = nombre de mmol de nitriles ou de dinitriles formés par mmol de Ni(0) engagé

COD = cyclo-octadiène.

### Exemples 1 à 5 - Synthèse de catalyseur Ni(0)/TPPTS par réduction électrochimique de Ni(CN)<sub>2</sub> dans une solution aqueuse de TPPTS.

On charge dans le compartiment cathodique 50 ml d'une solution aqueuse de cyanure de nickel (Ni(CN)<sub>2</sub> : 10,6 g/kg) et de TPPTS (300 g/kg d'eau).

Dans le compartiment anodique, on charge 20 ml d'anolyte (composition dans tableau 1 suivant). L'électrolyse

est réalisée à 25°C au potentiel contrôlé de - 1,2 Volt. Des prélèvements sont régulièrement effectués afin de doser le Ni(II) restant par polarographie.

Tableau 1

Exemples	Anolyt	Durée (min)	TT Ni(CN) <sub>2</sub> (%)
1	TPPTS 0,6 M	220	50
2	KHSO <sub>4</sub> 1,5 M	400	92
3	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> saturé	400	48
4	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> saturé	1350	75
5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 N	75	77

Tests (a, b, c et d) en hydrocyanation du pentène-3 nitrile des solutions 1, 2, 4 et 5 de catalyseurs générées électrochimiquement.

Tableau 2

Essais	Catalyseur	Ni(0) (mmol)	HCN (mmol/h)	RT <sub>ADN</sub> (%)	t.o.
CE1 *	Ni(COD) <sub>2</sub> /TPPTS	5	67,4	61	30
CE2 **	Ni(CN) <sub>2</sub> (TPPTS) <sub>2</sub>	0	67,4	0	0
a	solution 1	3	55,7	64	38
b	solution 2	3,8	50,5	63	37
c	solution 4	3,2	54,7	63	35
d	solution 5	2,9	39,1	61	37

Conditions opératoires des tests d'hydrocyanation :

- 3PN : 320 mmol ; ZnCl<sub>2</sub> : 20 mmol ; 65°C ; 3 h.

CE1 \* = essai comparatif avec un catalyseur préparé par échange des ligands COD de Ni(COD)<sub>2</sub> par la TPPTS.

CE2 \*\* = essai comparatif avec une solution de Ni(CN)<sub>2</sub>(TPPTS)<sub>2</sub> non traitée électrochimiquement.

Test (e) en hydrocyanation du butadiène de la solution 1 de catalyseur générée électrochimiquement.

Tableau 3

Essais	Catalyseur	BD (mmol)	Ni(0) (mmol)	HCN (mmol/h)	RT <sub>3PN + 2M3</sub> (%)	t.o.
CE3 *	Ni(COD) <sub>2</sub> /TPPTS	400	5,5	350	97	70
CE4 **	Ni(CN) <sub>2</sub> (TPPTS) <sub>2</sub>	400	0	350	0	0
e	solution 1	530	4	386	90	60

Conditions opératoires des tests d'hydrocyanation :

- TPPTS : 25 mmol, 90°C, 1,2 h.

CE3 \* = essai comparatif avec un catalyseur préparé par échange des ligands COD de Ni(COD)<sub>2</sub> par la TPPTS.

CE4 \*\* = essai comparatif avec une solution de Ni(CN)<sub>2</sub>(TPPTS)<sub>2</sub> non traitée par électroréduction.

#### Exemple 6 - Synthèse de catalyseur Ni(0)/TPPTS par réduction de NiCl<sub>2</sub> dans une solution aqueuse de TPPTS.

On charge dans le compartiment cathodique 50 ml d'une solution aqueuse de chlorure de nickel (NiCl<sub>2</sub> : 17,4 g/kg), de TPPTS (300 g/kg d'eau) et de cyanure de sodium (NaCN : 6,6 g/kg).

Dans le compartiment anodique, on charge 20 ml d'une solution aqueuse de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> saturée. L'électrolyse est réalisée à 25°C au potentiel contrôlé de - 1,2 Volt. Des prélèvements sont régulièrement effectués afin de doser le Ni(II) restant par polarographie.

Exemple	Anolyte	Durée (min)	TT Ni(II) (%)
6	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> saturé	1000	80

Test (f) en hydrocyanation du 3PN de la solution 6 du catalyseur régénéré électrochimiquement.

Essais	Catalyseur	Ni(0) (mmol)	HCN (mmol/h)	RT <sub>ADN</sub> (%)	t.o.
f	solution 6	4,45	57,5	59	25

**Exemple 7 - Régénération d'une solution aqueuse de Ni/TPPTS Issue de l'hydrocyanation du pentène-3 nitrile.**

a) On place dans un réacteur en verre de 150 ml, agité par une turbine :

- 38 ml de solution aqueuse renfermant 5 mmol de nickel (0), 20 mmol de TPPTS et 20 mmol de chlorure de zinc,
- 32,4 ml de 3PN (320 mmol).

On chauffe le tout à 65°C et on injecte l'acide cyanhydrique pur (condensé à -10°C) à un débit de 67 mmol/h pendant 3,5 h. Après refroidissement, dégazage et décantation, on sépare les deux phases. La phase organique est dosée par Chromatographie en phase gazeuse (CPG) :

- pentène-3 nitrile : 177 mmol
  - éthylsuccinonitrile : 13 mmol
  - méthylglutaronitrile : 35 mmol
  - adiponitrile : 92 mmol
- soient 28 mmol de dinitriles formés par mmol de nickel.

b) La phase aqueuse complètement inactive est électrolysée à un potentiel de -1,2 Volt par rapport à une électrode de référence Ag/AgCl pendant 3 h.

c) On replace dans le réacteur:

- 29 ml de la solution aqueuse de catalyseur ainsi régénérée,
- 10 mmol de ZnCl<sub>2</sub>,
- 32,4 ml de 3PN (320 mmol).

On chauffe le tout à 65°C et on injecte l'acide cyanhydrique à un débit de 34 mmol/h pendant 6 h. Après refroidissement et dégazage, on dose par CPG les différents nitriles :

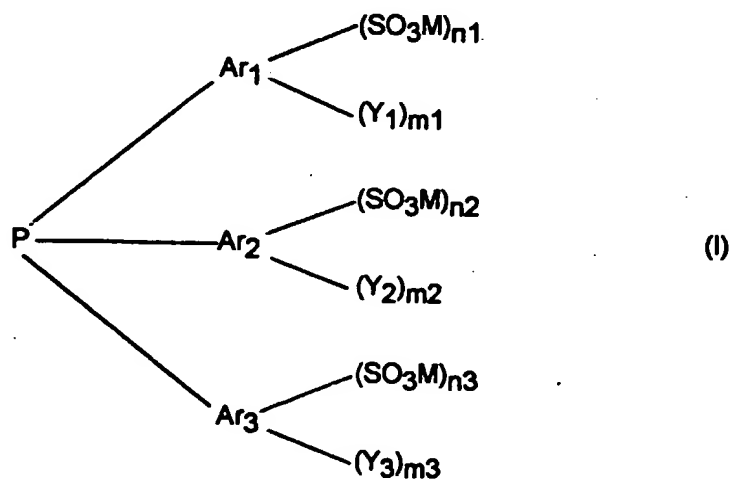
- pentène-3 nitrile : 183 mmol
  - éthylsuccinonitrile : 14 mmol
  - méthylglutaronitrile : 39 mmol
  - adiponitrile : 78 mmol.
- soient 32 mmol de dinitriles formés par mmol de nickel.

Ces résultats indiquent que le catalyseur est parfaitement régénéré.

**Revendications**

- Procédé de préparation électrochimique de catalyseurs comportant au moins un métal de transition au degré d'oxydation 0 ou 1, associé à au moins une phosphine sulfonée, caractérisé en ce qu'il consiste à traiter par électrolyse une solution aqueuse contenant au moins un composé d'un métal de transition et une phosphine sulfonée, placée dans le compartiment cathodique d'une cellule d'électrolyse d'un électrolyseur.
- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cellule d'électrolyse de l'électrolyseur comporte un compartiment cathodique et un compartiment anodique séparés par un élément séparateur constitué par une membran échangeus d'ions ou un diaphragme poreux.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la cathode de la cellule d'électrolyse est en un matériau tel que le platine, l'or, l'iridium, le ruthénium, le palladium, le nickel, le graphite, le carbone vitreux, le fer, un acier inoxydable, un acier spécial, le plomb, le mercure, un amalgame ou être constituée par du titane, du tantal, du nickel ou d'un acier inoxydable, revêtu d'une couche de platine, d'or, d'iridium, de ruthénium, d'un mélange de plusieurs de ces métaux, d'oxydes de platine, de palladium, d'iridium, de rhodium, de ruthénium, d'osmium, de tantale ou d'un mélange de plusieurs de ces oxydes.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la cathode et l'anode de la cellule d'électrolyse ont une structure plane telle que plaque, grille ou une structure volumique et qu'elles sont trouées ou déployées.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la cathode ou l'anode a une structure volumique choisie parmi les empilements granulaires des matériaux qui la constituent, les feutres ou les mousses de cesdits matériaux.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'anode est un matériau tel que le platine, l'or, l'iridium, le ruthénium, le palladium, le nickel, le graphite, le carbone vitreux, un acier inoxydable, un acier spécial, le plomb ou être constituée par du titane ou du tantale revêtu d'une couche de platine, d'or, d'iridium, de ruthénium, d'un mélange de plusieurs de ces métaux, d'oxydes de platine, de palladium, d'iridium, de rhodium, de ruthénium, d'osmium, de tantale ou d'un mélange de plusieurs de ces oxydes.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'élément séparateur est choisi parmi les membranes de type cationique, préparées à partir de résines échangeuses de cation possédant des groupes acides comme les groupes sulfoniques ou des groupes carboxyliques et de préférence parmi les membranes préparées avec des résines sulfoniques.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'élément séparateur est choisi parmi les diaphragmes en céramique poreuse, les diaphragmes en fibres synthétiques tissées ou non-tissées, les diaphragmes déposés à base de fibres d'amiante ou de fibres synthétiques.
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la phosphine sulfonée mise en oeuvre répond à la formule générale (I):



dans laquelle :

- \*  $\text{Ar}_1$ ,  $\text{Ar}_2$  et  $\text{Ar}_3$ , identiques ou différents, représentent des groupements aryles
- \*  $\text{Y}_1$ ,  $\text{Y}_2$  et  $\text{Y}_3$ , identiques ou différents, représentent
  - un radical alkyle ayant 1 à 4 atomes de carbone,
  - un radical alcoxy ayant 1 à 4 atomes de carbone,
  - un atome d'halogène,



- . un radical CN,
- . un radical NO<sub>2</sub>
- . un radical OH,
- . un radical NR<sub>1</sub>R<sub>2</sub>, dans la formule duqu i R<sub>1</sub> t R<sub>2</sub>, id ntiques ou différents, représ ntent un radical alkyle

5

ayant 1 à 4 atomes de carbone ,

- \* M est un reste cationique minéral ou organique choisi, de manière à ce que le composé de formule (I) soit soluble dans l'eau, dans le groupe comprenant :

10

- . H<sup>+</sup>,
- . les cations dérivés des métaux alcalins ou alcalino-terreux,
- . N(R<sub>3</sub>R<sub>4</sub>R<sub>5</sub>R<sub>6</sub>)<sup>+</sup> avec R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub> et R<sub>6</sub>, identiques ou différents, représentant un radical alkyle ayant 1 à 4 atomes de carbone ou un atome d'hydrogène,
- . les autres cations dérivés des métaux dont les sels de l'acide benzènesulfonique sont solubles dans l'eau,

15

- \* m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub> et m<sub>3</sub> sont des nombres entiers, identiques ou différents, de 0 à 5,
- \* n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> et n<sub>3</sub> sont des nombres entiers, identiques ou différents, de 0 à 3, l'un d'entre eux au moins étant égal ou supérieur à 1.

20

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la phosphine sulfonée mise en oeuvre répond à la formule (I), dans laquelle :

- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub> sont des groupements phényle,
- Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> et Y<sub>3</sub> représentent des groupements choisis parmi

25

- . les radicaux alkyle ayant de 1 à 2 atomes de carbone,
- . les radicaux alkoxy ayant de 1 à 2 atomes de carbone,

30

- M représente un cation choisi parmi le groupe comprenant

- . H<sup>+</sup>
- . les cations dérivés de Na, K, Ca, Ba
- . NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- . les cations tétraméthylammonium, tétraéthylammonium, tétrapropylammonium, tétrabutylammonium

35

- m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub> et m<sub>3</sub> sont des nombres entiers de 0 à 3
- n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> et n<sub>3</sub> sont des nombres entiers de 0 à 3, l'un au moins étant également supérieur à 1.

40

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la phosphine sulfonée mise en oeuvre est choisie parmi les sels de sodium, de potassium, de calcium, de baryum, d'ammonium, de tétraméthylammonium et de tétraéthylammonium, des mono(sulfophényl) diphenyl-phosphine, di(sulfophényl) phényl-phosphine et tri (sulfophényl)-phosphine dans les formules desquelles les groupements SO<sub>3</sub> sont de préférence en position méta.

45

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le composé de métal de transition est choisi parmi les composés du nickel, du cobalt, du fer, du palladium, du platine, du rhodium et de l'iridium, solubles dans l'eau ou capables de passer en solution dans les conditions de la réaction.

50

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que le composé de métal de transition est choisi parmi les composés du nickel tels que les carboxylates, notamment acétate, formiate, citrate, de nickel, carbonate de nickel, bicarbonate de nickel, borate de nickel, bromure de nickel, chlorure de nickel, iodure de nickel, thiocyanate de nickel, cyanure de nickel, hydroxyde de nickel, hydrophosphite de nickel, phosphite de nickel, phosphate de nickel et ses dérivés, nitrate de nickel, sulfate de nickel, sulfite de nickel, aryl- et alkyl-sulfonates de nickel.

55

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que dans le compartiment cathodique la concentration initiale en phosphine sulfonée se situe entre 10<sup>-3</sup> mole/litre et 1 mole/litre et la concentration initiale en composé du métal de transition, notamment en composé du nickel, se situe entre 10<sup>-5</sup> mole/litre t 1 mole/litre.

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que le compartiment cathodique comporte

d'autres composés permettant d'augmenter la conductivité de l'électrolyte tels que des sels solubles, des agents complexants susceptibles de modifier le potentiel auquel est effectuée la réduction du métal de transition tels que les cyanures et des acides de Lewis.

- 5 16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que l'acide de Lewis mis en œuvre dans le compartiment cathodique est choisi parmi les composés des éléments des groupes Ib, IIb, IIIa, IIIb, IVa, IVb, Va, Vb, VIb, VIIb et VIII de la Classification périodique des éléments, dans la mesure où lesdits composés sont au moins partiellement solubles et stables dans l'eau ou plus généralement dans la solution aqueuse à traiter par électrolyse, de préférence parmi les sels, notamment les halogénures, de préférence chlorures et bromures, les sulfates, les nitrates, les sulfonates, notamment les trifluorométhanesulfonates, les carboxylates, les acétylacétonates, les tétrafluoroborates et les phosphates.
- 10 17. Procédé selon l'une des revendications 15 ou 16, caractérisé en ce que l'acide de Lewis est choisi parmi le chlorure de zinc, le bromure de zinc, l'iodure de zinc, le trifluorométhanesulfonate de zinc, l'acétate de zinc, le nitrate de zinc, le tétrafluoroborate de zinc, le chlorure de manganèse, le bromure de manganèse, le chlorure de nickel, le bromure de nickel, le cyanure de nickel, l'acétylacétonate de nickel, le chlorure de cadmium, le bromure de cadmium, le chlorure stanneux, le bromure stanneux, le sulfate stanneux, le tartrate stanneux, les chlorures, bromures, sulfates, nitrates, carboxylates ou trifluorométhanesulfonates des éléments des terres rares comme le lanthane, le cérium, le praséodyme, le néodyme, le samarium, l'euporium, le gadolinium, le terbium, le dysprosium, l'holmium, l'erbium, le thulium, l'ytterbium et le lutétium, le chlorure de cobalt, le chlorure ferreux, le chlorure d'yttrium.
- 15 18. Procédé selon l'une des revendications 15 à 17, caractérisé en ce que l'acide de Lewis est choisi parmi le chlorure de zinc, le bromure de zinc, le sulfate de zinc, le tétrafluoroborate de zinc, le chlorure stanneux, le bromure stanneux, les mélanges chlorure de zinc/chlorure stanneux, le chlorure de nickel, le bromure de nickel, l'acétylacétonate de nickel.
- 20 19. Procédé selon l'une des revendications 15 à 18, caractérisé en ce que l'acide de Lewis représente de 0 à 50 moles par mole de composé de métal de transition, plus particulièrement de composé du nickel, et de préférence de 0 à 10 moles par mole.
- 25 20. Procédé selon l'une des revendications 1 à 19, caractérisé en ce que le compartiment anodique contient une solution aqueuse d'un anolyte constitué par un acide tel que notamment l'acide sulfurique, l'acide nitrique, les acides carboxyliques solubles dans l'eau comme l'acide acétique, par les sels correspondants tels que de sodium, de potassium, d'ammonium ou d'ammonium quaternaire ou par une base telle que la soude ou la potasse, de préférence l'anolyte étant choisi parmi l'acide sulfurique et ses sels.
- 30 21. Procédé selon l'une des revendications 1 à 19, caractérisé en ce que le compartiment anodique contient une solution aqueuse d'un anolyte constitué par une ou plusieurs phosphines sulfonées.
- 35 22. Procédé selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que la concentration initiale de l'anolyte dans la solution du compartiment anodique est de  $10^{-2}$  mole/litre à 3 moles/litre.
- 40 23. Procédé selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'il consiste à mettre en œuvre dans le compartiment cathodique une solution aqueuse d'un catalyseur usé, à base de phosphine sulfonée et d'un métal de transition, et plus particulièrement le nickel, transformé au moins en partie en cyanure, ledit catalyseur usé contenant aussi éventuellement un ou plusieurs acides de Lewis, et ladite solution pouvant contenir des quantités relativement faibles de composés comme le butadiène et/ou les pentène-nitriles ou comme l'adiponitrile, le méthylglutaronitrile, l'éthylsuccinonitrile, les méthylbutène-nitriles.
- 45
- 50
- 55



Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 95 42 0339

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
X	FR-A-2 080 556 (STUDIENGESELLSCHAFT KROLE) 19 Novembre 1971 * exemple 2 * * revendication 1 *	1,3,6, 12-14	B01J37/34 B01J31/24
Y	---	9-11	
Y	EP-A-0 602 463 (HOECHST AG) 22 Juin 1994 * revendication 5 *	9-11	
A	FR-A-2 338 253 (RHONE POULENC IND) 12 Août 1977 ---		
A	EP-A-0 354 845 (ATOCHEM ELF SA) 14 Février 1990 -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			B01J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>LA HAYE</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>4 Mars 1996</b>	Examinateur <b>Thion, M</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 (04/92) (P4/C02)